Pilot Kennisplatform Windenergie

KENNISBERICHT

Geluid van windturbines

Versie 1.0

Juni 2015

versie 1.0

KENNISBERICHT
Geluid van windturbines

Inhoud

SAMENVATTING

Bij het opwekken van energie met windturbines speelt een groot aantal technische, economische, sociale en politieke factoren een rol. Bij het plaatsen van windturbines nabij bewoond gebied is geluid één van de belangrijke onderwerpen. Het geluid kan leiden tot klachten bij omwonenden die op grond van onderzoek nog maar ten dele kunnen worden verklaard. Dit Kennisbericht zet op een rij wat op dit moment bekend is over geluid van windturbines en het (mogelijke) effect daarvan op omwonenden. Uiteindelijk worden in de laatste sectie Aandachtspunten mogelijke handelingsperspectieven genoemd gebaseerd op de teksten in de eerdere hoofdstukken.

Geluid van windturbines in een notendop

In de loop der tijd zijn de windturbines groter geworden en meer geluid gaan produceren. Doordat het niet altijd even hard waait, varieert het geluid van windturbines met de tijd. Overdag is het geluid van windturbines in veel omgevingen vaak niet te horen, doordat ook veel ander geluid aanwezig is. 's Nachts kan de windturbine beter te horen zijn, vooral als het aan het aardoppervlak minder hard waait dan op de hoogte waar de wieken zich bevinden.

Dicht in de buurt van een turbine is altijd een zoeven te horen, dat is het geluid van de naar beneden bewegende wiek. Ook op grotere afstand kan het geluid, voornamelijk 's avonds en 's nachts, een ritmisch karakter krijgen. Dit wordt dan waargenomen als een zoevend, zwiepend of stampend geluid, vooral benedenwinds van de turbine. Verder van de windturbine af wordt het geluid van de windturbine steeds zachter, en klinkt het wat lager of doffer. De hoge tonen komen namelijk minder ver.

Gezondheidseffecten van (windturbine)geluid

Naar de effecten van geluid is veel epidemiologisch onderzoek gedaan. Bij groepen mensen wordt dan met behulp van vragenlijsten onderzocht of de blootstelling aan geluid tot gezondheidseffecten leidt. Dit is gedaan voor onder andere wegverkeer, vliegverkeer, industrielawaai en vooral de laatste jaren ook voor windturbinegeluid. Hinder en slaapverstoring zijn bekende effecten van geluid.

Of en wanneer het geluid van windturbines tot slaapverstoring leidt, wordt uit de studies niet duidelijk, maar kan op grond van de maximaal mogelijke geluidniveaus niet worden uitgesloten. De relatie tussen windturbinegeluid en hinder is eenduidiger; geluid van windturbines wordt eerder als hinderlijk ervaren dan geluid van verkeer of industrie. Op grond van de beschikbare studies is een verband afgeleid tussen de hoeveelheid windturbinegeluid en ernstige hinder. Andere gezondheidseffecten, waarvan windturbinegeluid de oorzaak zou zijn (zoals vermoeidheid, hoge bloeddruk, windturbinesyndroom), zijn uit epidemiologische studies niet naar voren gekomen. Wel zijn er zowel in Nederland als daarbuiten mensen die hun gezondheidsklachten toeschrijven aan windturbines in hun omgeving.

Grenswaarde voor windturbinegeluid

De grenswaarde voor het geluid van windturbines verschilt tussen diverse landen. De Nederlandse norm is niet duidelijk afwijkend van normen elders in Europa. In Nederland bedraagt de norm 47 decibel Lden (gemiddelde van de dag, avond en nacht over lange duur) en 41 decibel Lnight (gemiddelde geluidniveau over alle nachten in een jaar). Deze waarde is tot stand gekomen op basis van een afweging tussen het te verwachten percentage hinder en de noodzaak om meer duurzame energie op te wekken.

Op grond van de beschikbare kennis wordt verwacht dat 8 à 9 procent van de omwonenden ernstige hinder zal ondervinden als het geluidniveau gelijk is aan de huidige geldende norm. Dit percentage kan sterk verschillen per situatie, doordat veel andere factoren (zoals het overige geluid in de omgeving, de mening over windenergie, het al dan niet hebben van uitzicht op de windturbine, het vertrouwen in instanties) invloed kunnen hebben op geluidhinder. Die factoren staan daarom niet los van de factor geluid.

Waarover bestaat twijfel of zijn er verschillende visies?

Er is een aantal studies en onderwerpen dat vaak wordt betrokken in discussie over windturbines. Omwonenden zijn vaak ongerust over het laagfrequente deel van het geluid (het meest laagtonige deel) en het effect daarvan op hun gezondheid, en / of over het optreden van het windturbinesyndroom of vibro-akoestische ziekte. Vanuit de verzameling aan wetenschappelijke literatuur worden deze effecten niet aannemelijk geacht of zijn ze onvoldoende aangetoond. Dit leidt tot discussie omdat omwonenden vinden dat deze effecten wel aannemelijk zijn. Het is lastig om het dan eens te worden over goede oplossingen. Het is trouwens niet uitgesloten dat een (klein) aantal omwonenden klachten heeft die in de onderzoeksresultaten niet naar voren komen. Individuele gevallen komen amper naar voren in de statistische analyses in een epidemiologische studie met honderden tot duizenden deelnemers. Bekend is wel, ook uit onderzoek bij andere geluidbronnen, dat chronische hinder of het gevoel dat de kwaliteit van de leefomgeving afneemt, een negatieve invloed kan hebben op de gezondheid en het welbevinden. Een zorgvuldige afweging van alle factoren met de diverse betrokkenen blijft mede hierdoor van belang.

Geluid in context

Het is niet goed mogelijk de beoordeling van geluid los te zien van andere factoren. Bijvoorbeeld het zien van windturbines en de schaduwwerping kunnen invloed hebben op de mate van geluidhinder. Ook heeft de manier waarop een project tot stand is gekomen, invloed op de houding en waarneming van omwonenden. Dit is bij andere geluidsbronnen niet anders. De verdeling van kosten en baten en de publieke betrokkenheid hebben invloed op het oordeel over een windenergieproject en kunnen ook de oordelen over geluidhinder beïnvloeden. Daarnaast hebben het vertrouwen in andere partijen en de eigen waarden die betrokkenen er op na houden invloed op dat oordeel.

Wat zijn verbetermogelijkheden bij het plannen of exploiteren van een windturbine(park)

Als er plannen zijn om een windturbinepark op te zetten, is het van belang de omwonenden al vroeg te betrekken en te informeren over het te verwachten geluid in de omgeving en de mogelijke effecten ervan. Daarnaast zou besproken moeten worden wat er wordt gedaan om de hinder voor omwonenden te beperken. Enkele concrete verbeterpunten met betrekking tot het aspect geluid staan hieronder genoemd.

Mogelijke verbeteringen <u>voorafgaand</u> aan het realiseren van een windturbine(park)

1) Er zijn nog innovaties mogelijk die het geproduceerde geluid (verder) verminderen, zoals het verminderen van het toerental, het veranderen van de bladvorm en het aanbrengen van structuren op de rotorbladen. Waarschijnlijk zijn er ook mogelijkheden om het ritmische karakter van het geluid minder sterk te maken.
2) De informatievoorziening voor omwonenden kan verbeterd worden, onder andere door het presenteren van een 3D-simulatie van het te verwachten geluid.
3) Door verschillende partijen, waaronder omwonenden, bij de besluitvorming te betrekken, kunnen de belangen en zorgen van deze partijen beter worden meegenomen in de besluitvorming.
4) Gemeenten kunnen een eigen geluidsnorm kiezen als dat vanwege een bijzondere lokale situatie is.

Mogelijke verbeteringen bij een <u>bestaand</u> windturbine(park)

1) Een regulier overleg tussen exploitant en bewoners, en eventueel overheid, kan bijdragen aan het tijdig signaleren van problemen.
2) Het gebruik van een weerbericht voor 100 meter hoogte zou de omwonenden een beter beeld kunnen geven van het te verwachten geluid op de korte termijn.
3) Het toepassen van geluidreducerende maatregelen, zoals 'noise reduced operation' of voorzieningen aan de wieken.

1. INLEIDING

De transitie naar een meer duurzame energiehuishouding is wenselijk, maar ook lastig. Verschillende energiebronnen kunnen daar een rol bij spelen, waaronder windenergie. De Nederlandse overheid streeft ernaar dat in 2020 het gezamenlijke vermogen van alle windturbines op land 6.000 megawatt (MW) bedraagt. Dat is ongeveer twee maal zoveel als eind 2014 is gerealiseerd. Maar windenergie is een controversieel onderwerp in de samenleving. Het plaatsen van windturbines in de nabije omgeving van mensen roept veel vragen en bezorgdheid op. Vanwege deze vragen en bezorgdheid, en de wenselijkheid van een goede onderbouwde dialoog, heeft een aantal betrokken organisaties het initiatief genomen tot een Kennisplatform Windenergie. In dat Kennisplatform zouden de vragen en zorgen door alle belanghebbenden op gelijke voet kunnen worden behandeld. Voor zo'n Kennisplatform is eerst een pilotfase opgezet. In die pilotfase is het niet haalbaar om alle thema's rond windenergie tegelijk te omvatten. Daarom is er, in overleg en gezamenlijk met alle partijen, voor gekozen om te beginnen met het opstellen van een kennisbericht over wat we weten van windturbinegeluid en over mogelijke effecten op gezondheid en welzijn. In bijlage A zijn de achtergronden van het Kennisplatform Windenergie en de opzet van de pilot toegelicht.

Bij windenergieprojecten moet de overheid het belang van omwonenden afwegen tegen andere belangen: de samenleving moet duurzamer worden en er zijn verdragen die moeten worden nageleefd. De energieconsumptie is één van de belangrijke niet-duurzame kanten van onze samenleving. Energiebesparing is het belangrijkste middel, maar energieproductie blijft nodig. Het Nederlandse energiebeleid stelt dat windenergie een belangrijke bijdrage moet leveren. Voor de overheid is het daarom belangrijk deze productiewijze te stimuleren en dat op een maatschappelijk aanvaardbare manier te doen.

Alle partijen, ook het bedrijfsleven en onderzoeksinstituten, zijn nodig om meer duurzame energie te realiseren. Er zijn de afgelopen 30 tot 40 jaar ontwikkelingen geweest die hebben geleid tot de moderne windparken, waardoor nu windenergie meer efficiënt op grote(re) schaal kan worden gewonnen. In diverse landen is die ontwikkeling op verschillende manieren financieel gestimuleerd: door de hoogte van teruglevertarieven, of door subsidies of certificaten die de verschillen tussen duurzame en fossiele vereffenen.

Dit Kennisbericht

Dit Kennisbericht gaat over één aspect van windenergie: het geluid van windturbines en de (mogelijke) effecten hiervan. Natuurlijk spelen, behalve geluid, andere aspecten van windenergie een rol bij de beleving van windturbines. Voor veel omwonenden heeft het plaatsen van windturbines invloed op het uitzicht en de rust van hun leefomgeving en men zet vraagtekens bij de inpassing van turbines in het landschap. In dit Kennisbericht zal daarom naast de gezondheidseffecten van geluid ook enige aandacht aan deze belevingsfactoren besteed worden.
In het debat over duurzame energie spelen echter ook veel andere en deels grotere vragen, zoals: lossen we het energieprobleem wel op met windturbines, kan het geld niet beter in besparing worden gestopt? Is het waar dat er elektriciteitscentrales stand-by moeten worden gehouden die meer vervuilend zijn zodat we van de regen in de drup belanden? Deze vragen kunnen nu niet beantwoord worden, gelet op het doel en de omvang van de pilot. Maar ze kunnen aan bod komen als de pilot Kennisplatform een vervolg krijgt.

Geluid komt bij windenergieprojecten altijd wel aan bod: bij elk project wordt een akoestisch rapport opgesteld. Zo'n rapport kan mogelijk tot discussie leiden: kloppen de berekeningen, is met alle effecten van geluid rekening gehouden? Maar ook al 'klopt' het rapport en voldoet het geluid aan de norm, toch is het dan vaak nog de vraag wat het geluid uiteindelijk voor de omwonenden betekent. Sommige bewoners zijn bezorgd dat ze er ziek van kunnen worden en zij vragen zich af of het laagfrequente geluid effecten kan hebben die nog niet voldoende worden onderkend. Er zijn omwonenden die de aanwezigheid van windturbines als een aanslag op hun gezondheid zien. Tegelijk zijn er ook

omwonenden die windturbines in hun omgeving verwelkomen vanwege de wens een bijdrage te kunnen leveren aan de verduurzaming van de maatschappij. Die verschillen in beleving van windturbinegeluid en beoordeling van windenergieprojecten moet op een eerlijke en open wijze worden afgewogen tegen het voordeel van duurzame energie.

Doel en aanpak

Het doel van het Kennisplatform Windenergie i.o. is om de benodigde beschikbare kennis onafhankelijk te verzamelen en duiden en daarmee een bron van informatie te bieden. Daarbij moeten alle invalshoeken belicht worden, zodat alle vier de clusters van belanghebbenden (Omwonenden, Ondernemingen, Overheden en Onderzoeks/Onderwijsinstellingen) betrokken zijn bij dit Kennisbericht en het gezamenlijk onderschrijven. Duiden betekent dat we niet alleen aangeven waar de beschikbare kennis breed onderschreven wordt, maar of er controverses zijn en waar de beschikbare kennis nog niet toereikend is. Hoewel dat soms nieuwe onderzoeksvragen oproept, richten we ons op de beschikbare kennis en op mogelijke handelingsperspectieven voor de vier clusters. In bijlage A wordt nader beschreven hoe dit Kennisbericht tot stand is gekomen.

Primaire doelgroep van dit Kennisbericht is, volgens het Plan van Aanpak, de mensen die er straks een beslissing over moeten nemen: beleidsmakers en lokale politici zoals gemeenteraadsleden, colleges van B&W, Statenleden en Gedeputeerde Staten. In tweede instantie is dit Kennisbericht echter ook bedoeld voor allen die betrokken zijn bij het ontwikkelen van windenergieprojecten.

2. GELUID VAN WINDTURBINES

In dit hoofdstuk wordt eerst aandacht besteed aan het geluid van een windturbine en wat we daarvan horen. Vervolgens komen grenswaarden voor geluid van windturbines aan de orde. Tenslotte worden de mogelijkheden om het geluid te verminderen behandeld. In bijlage B (Aanvullende informatie over geluid) worden enkele aspecten van windturbinegeluid uitvoeriger behandeld.

2.1 Het geluid van windturbines

Geluidbronnen

De voornaamste bronnen van geluid van een windturbine hangen samen met de luchtstroming rond de rotorbladen of wieken. De sterkte van die geluiden wordt vooral bepaald door de snelheid waarmee de wieken draaien en door de grootte van de turbine. Een moderne windturbine produceert ongeveer evenveel geluid als een auto op de snelweg.[1 *] Een oneffenheid op een wiek kan zorgen voor een fluitend geluid. Vroeger was het geluid van de tandwielkast in de gondel vaak goed hoorbaar, maar dat is inmiddels zo sterk verminderd dat het geluid vanaf de wieken overheersend is. Soms worden ook andere (kortdurende) geluiden gerapporteerd die waarschijnlijk niet met de luchtstroming rond de wieken te maken hebben, maar voortkomen uit de draaiende delen in de gondel van de turbine. Zo is bijvoorbeeld soms het op de wind draaien van de gondel hoorbaar.

Hoorbaarheid van geluid

Of een geluid hoorbaar is, hangt af van de luisteraar zelf, van het geluidniveau en van de frequentie. Een hogere frequentie komt overeen met een hogere toon. Het normale gehoorgebied begint bij een frequentie van 20 hertz. Geluid bij lagere frequenties wordt infrasoon geluid genoemd en dat is alleen hoorbaar bij een zeer hoog geluidniveau. De bovengrens van het normale gehoorgebied is 20.000 hertz. Kinderen kunnen nog tot circa 20.000 hertz horen, ouderen tot ongeveer 10.000 hertz.

Omdat de gehoordrempel afhangt van de frequentie van het geluid, zegt een geluidniveau in decibellen (dB) weinig over de luidheid, dat is de sterkte zoals mensen het ervaren. Om een geluidsniveau te geven dat wel de met de ervaren luidheid overeen komt, kan bij matig harde geluiden de zogeheten A-weging worden toegepast (bij heel harde geluiden is een andere weging nodig). Daarbij worden de lagere en heel hoge frequenties, die wij minder goed horen, minder zwaar meegeteld. Twee matig harde geluiden met hetzelfde A-gewogen geluidsniveau klinken misschien anders, maar zijn wel even luid. Bij een geluidniveau waarop de A-weging is toegepast wordt de decibel afgekort tot dB(A).

Het kan zijn dat men een windturbine niet meer hoort als er voldoende ander geluid is, bijvoorbeeld van wegverkeer of bomengeruis. Omdat er overdag meestal meer geluid is, komt deze maskering vaker overdag voor. 's Nachts wordt het vaak rustiger, maar bovendien kunnen windturbines dan juist wat harder gaan draaien. Ook is na zonsondergang de kans groter dat het geluid meer ritmisch gaat klinken (zie *Variaties in het geluid* hieronder), waardoor het geluid meer opvalt. Een windturbine is 's nachts daardoor vaker en beter hoorbaar. Of ook een stille omgeving verschil maakt, is niet duidelijk. Uit Nederlandse onderzoek[2] bleek dat bewoners op het platteland windturbines in hun buurt net zo vaak hoorden als bewoners in de bebouwde kom. Als bij de bewoners op het platteland onderscheid werd gemaakt naar de aanwezigheid van wegverkeer, leken bewoners die ver van een weg woonden de windturbines vaker te kunnen horen dan bewoners met een weg in de buurt, maar dit verschil was statistisch niet significant.

Als men geen ervaring heeft met het geluid van windturbines, is het moeilijk zich daar een voorstelling van te maken op grond van wat men leest of hoort. Bij de Verkenningstafels is geopperd om mensen de mogelijkheid te geven vooraf een '3D-ervaring' op te doen zodat een bewoner een realistisch weergave van het geluid krijgt met zo mogelijk gelijktijdig beeld van één of meer windturbines.

---

[*] De kleine cijfers (zoals [1]) verwijzen naar literatuurbronnen in bijlage D.

Geluidvoortplanting

Het geluid verandert met de afstand tot de windturbine. Bij grotere afstanden wordt het geluidniveau lager. Ook is er een steeds groter verlies aan hoge tonen. Een windturbine klinkt op grotere afstand dus niet alleen zachter, maar ook laagtoniger: het geluid wordt dan doffer.

Boven land en vooral boven losse grond wordt geluid gedempt door absorptie: de bodem reflecteert een deel van het geluid, maar een deel wordt ook door de bodem geabsorbeerd. Boven grote wateroppervlakken is dat niet het geval doordat water geluid geheel weerkaatst: geluid 'draagt' daarom verder boven water.

Geluid draagt ook verder bij meewind: dat komt doordat geluid met de wind mee naar beneden wordt gebogen waardoor meer geluid de grond bereikt. Tegen de wind in is dat juist omgekeerd: geluid buigt dan omhoog en bij de grond komt minder geluid. De voortplanting van het geluid wordt verder beïnvloed door vegetatie die het geluid ook enigszins kan dempen.

Ook gebouwen kunnen het geluid blokkeren, maar door reflectie tegen gebouwen kan het geluidniveau plaatselijk juist weer verhoogd worden. Woningen met zicht op windturbines zullen daardoor meestal meer geluid ontvangen dan woningen op dezelfde afstand achter andere bebouwing.

Meten en rekenen

In Nederland wordt bij de planning van een windpark altijd berekend hoe hoog het geluidniveau is op punten in de omgeving. Na plaatsing van de windturbine(s) kunnen metingen dicht bij een turbine worden gedaan om te controleren of de geluidsproductie klopt met wat van tevoren was aangenomen. Bij het meten van windturbinegeluid bij woningen kunnen andere aanwezige geluiden in de omgeving grote invloed hebben op het resultaat. Dit geldt des te sterker naarmate de afstand toeneemt omdat het windturbinegeluid dan steeds zwakker wordt ten opzichte van andere geluiden. Ook worden alleen de omstandigheden tijdens het moment van meten meegenomen. Langdurig meten kan echter nuttig zijn mits de verstoringen herkenbaar zijn. Controle van de geluidniveaus bij woningen door middel van metingen is volgens de Nederlandse regelgeving voor windturbinegeluid overigens niet mogelijk.

Er is in diverse landen onderzoek gedaan naar geluidniveaus op grotere afstand van windturbines en in het algemeen blijkt daaruit dat het werkelijke geluidniveau benedenwinds hoger is dan volgens de berekening.[3,4,5,6] Dichtbij een windturbine is de overeenkomst tussen meting en berekening goed. Op groter afstand, tot ongeveer 1 kilometer, bleek het gemeten niveau gelijk te zijn aan het berekende geluidsniveau tot maximaal 3 decibel hoger. Op nog grotere afstanden, tot 2 kilometer, kon het verschil oplopen tot 5 decibel. Het geluidniveau neemt dus af met de afstand, maar uit meting blijkt die afname minder groot te zijn dan uit berekening volgt.

De gebruikelijke rekenmodellen zijn meestal niet bruikbaar om het geluidniveau bovenwinds van een windturbine te voorspellen. Er wordt een correctie toegepast om de bovenwindse situatie mee te nemen of er wordt alleen een benedenwindse, 'worst case' situatie beschouwd. Ook bij andere geluidbronnen, zoals wegverkeer of industrie, is het berekende geluidsniveau minder nauwkeurig bij tegenwind en op grotere afstanden.

Variaties in het geluid

Windturbinegeluid varieert met de tijd doordat de wind variabel is. Van het minimum, het net gaan produceren van elektriciteit, tot aan het maximum op vol vermogen neemt de geluidsproductie toe met meestal 10 tot 15 decibel. Als de windsnelheid varieert zal daarmee ook de hoeveelheid geluid variëren. Het gewone weerbericht is niet bruikbaar om dat te voorspellen, want dat geldt niet op de hoogte waarop de rotor draait. Als 's avonds de wind gaat liggen, kan de windsnelheid op rotorhoogte juist omhoog gaan. Als de wind erg variabel is, kan de geluidsproductie binnen minuten veranderen. Als de wind draait, kan de rotor vaker achter elkaar versteld worden, wat voor nabije bewoners hoorbaar kan zijn.

Er kan ook een snelle variatie in het geluid van een windturbine optreden dat zoeven, zwiepen of stampen wordt genoemd. Dit wordt ook wel 'amplitudemodulatie van het windturbinegeluid' genoemd: de sterkte van het geluid varieert dan met de frequentie waarmee een wiek een bepaald punt (bijvoorbeeld de mast) passeert. Met een driebladige rotor is dat drie keer het toerental van de rotor en dat ligt rond de één keer per seconde. Dit type geluid zal verder in deze tekst 'ritmisch geluid' genoemd worden.

Dicht bij een windturbine is ritmisch geluid altijd te horen. Dit komt doordat een wiek naar voren (in draairichting) meer geluid produceert (zie ook figuur 2.1 verderop). Op wat grotere afstand kan ook een ritmisch geluid worden gehoord, maar dan kan er een andere oorzaak zijn die vooral 's avonds en 's nachts (als de zon onder is) voorkomt. Die oorzaak is nog niet precies vastgesteld, maar heeft te maken met het veranderen van de windsnelheid als de grond afkoelt: dan neemt de windsnelheid bij de grond af maar op grotere hoogte juist toe.[7] De wieken komen dan tijdens hun rondgang verschillende windsnelheden tegen waarbij de hoeveelheid opgewekt geluid ook verschilt.

Dat dit ritmisch geluid zo opvallend is, komt doordat mensen gevoelig zijn voor ritme; het ritme in muziek is qua timing vergelijkbaar.

Ontwikkelingen

De moderne windturbine met driebladige rotor met horizontale as en variabel toerental is nog steeds in de groei. Op dit moment zijn windturbines van 2 tot 4 megawatt gebruikelijk, maar er zijn al windturbines ontwikkeld voor offshore gebruik die 10 megawatt kunnen opwekken. Tot nog toe zorgde een verdubbeling van het vermogen voor ongeveer 3 decibel extra geluid. Het aandeel laagfrequent geluid lijkt toe te nemen naarmate de turbines groter worden,[8] maar dat is niet zeker.[9]

Hoewel de ontwikkeling vooral plaatsvindt naar grotere turbines met een horizontale as, blijven andere turbines in ontwikkeling, zoals die met een verticale as en ook naar kleine windturbines die vanwege hun afmetingen makkelijker plaatsbaar zijn.

2.2 Grenswaarden voor windturbinegeluid

Er zijn verschillende methoden om grenswaarden vast te stellen. In Nederland geldt de vaste norm van 47 decibel Lden (gemiddelde van de dag, avond en nacht over lange duur) en 41 decibel Lnight (gemiddelde geluidniveau over alle nachten in een jaar). Andere landen werken met andere normen.

Doel grenswaarde

De gezondheid van de bevolking wordt beschermd door wet- en regelgeving, maar wordt daarbij afgewogen tegen andere belangen. Onder die wet- en regelgeving vallen milieunormen voor o.a. geluid. Bij het vaststellen van de geluidnorm voor windturbines is rekening gehouden met de hinder en slaapverstoring ten gevolge van geluid.

Het doel van de regelgeving voor geluid, waaronder windturbinegeluid, is om te zorgen dat omwonenden niet te veel worden belast. Dit doel probeert de overheid te bereiken door de blootstelling te beperken tot een niveau dat maatschappelijk aanvaardbaar wordt geacht. Daarbij zijn verschillende belangen (zoals bescherming omwonenden en ruimte voor windenergie) tegen elkaar afgewogen. Ook was er bij de rijksoverheid de wens aan te sluiten bij de Europese geluidmaten Lnight en Lden (die in Nederland ook bij weg-, rail- en vliegverkeer worden gebruikt).

Lden en Lnight

Volgens de Europese richtlijn voor omgevingslawaai moeten het Lden en Lnight worden bepaald voor weg-, rail- en vliegverkeer en industriële bronnen. Het Lnight is het over de nacht (23-7 uur) gemiddelde geluidniveau over de lange termijn; het gaat dus niet om afzonderlijke nachten, maar een over het jaar gemiddelde nacht.

Het maximale geluidniveau van een windturbine ligt 2 tot 6 decibel boven het over de nacht gemiddelde geluidniveau van die windturbine (Lnight)'s. De precieze waarde is afhankelijk van de locatie (kust, binnenland), de hoogte van de turbine en het turbinetype.
Het Lden ('den' is afkorting van day-evening-night) is een lastiger begrip, want het is een gewogen gemiddelde waarbij rekening wordt gehouden met de in het algemeen hogere geluidgevoeligheid tijdens avond en nacht. Voor de dag, avond en nacht worden de gemiddelden over lange duur uitgerekend en daarna samengenomen tot één (gewogen) gemiddelde over het hele etmaal. Daarin telt de nacht zwaarder dan de avond en de avond weer zwaarder dan de dag doordat bij het gemiddelde geluidniveau 's avonds 5 dB wordt opgeteld en 's nachts 10 dB. Met Lden kan in één getal een geluidbelasting worden gegeven die rekening houdt met die verschillende etmaalperioden. Uit dat getal kan niet direct het toelaatbare geluidniveau voor één van die perioden af worden geleid. Echter, voor de gevoeligste periode is er een eigen norm (het Lnight).

Grenswaarde Nederland

De geluidsnorm is, na behandeling in de Tweede Kamer, gesteld op 47 dB Lden en 41 dB Lnight. Bij een geluidsniveau van 47 decibel Lden zou 8 à 9 procent van de omwonenden ernstige geluidhinder ondervinden.[10]

Als de geluidsnorm alleen bedoeld was om ernstige geluidshinder en slaapverstoring bij omwonenden te voorkomen, zou de norm waarschijnlijk op ongeveer 40 decibel Lden zijn gesteld. Uit onderzoek was gebleken dat er bij die geluidniveaus nauwelijks ernstige hinder of slaapverstoring te verwachten was.[11] Bij het vaststellen van de norm werd een zekere mate van ernstige hinder door de overheid dus aanvaardbaar geacht.[12] Dat is bij andere vormen van lawaai ook het geval. Bij snelwegverkeer komt bij het maximaal toelaatbare geluidniveau bij 6 procent van de blootgestelde bewoners ernstige geluidhinder voor, bij stadsverkeer 21 procent, bij spoorwegen 12 procent, bij bedrijfslawaai 9 procent en bij grote luchthavens 54 procent.
Dat het geluidsniveau van een windpark voldoet aan de grenswaarde wil dus niet zeggen dat omwonenden er geen last van kunnen hebben. Bij de meest nabije bewoners kan verwacht worden dat ongeveer 1 op de 10 ernstige geluidshinder zal ondervinden, maar dat zal niet op elke locatie precies hetzelfde zijn. Wat het voor een individuele bewoner betekent, kan sterk verschillen: de meesten zullen weinig tot geen hinder ervaren, maar anderen kunnen er om meerdere redenen veel last van hebben (zie paragraaf 3.5).

Een verdere overweging was dat bij 47 decibel Lden en bij windturbines zonder extra maatregelen het geluidniveau 's nachts gemiddeld 41 decibel Lnight zou bedragen. Dat is vrijwel gelijk aan de aanbeveling van de World Health Organization om 's nachts het geluidniveau buitenshuis tot 40 decibel te beperken.[13] Deze aanbeveling heeft betrekking op bronnen die in de Europese richtlijn voor geluid (END) zijn genoemd: vervoermiddelen, wegverkeer, spoorwegverkeer, luchtverkeer en locaties van industriële activiteiten; windturbines zijn daarbij niet specifiek genoemd. Net als in die Europese richtlijn betreft het bij de World Health Organization ook het over lange duur gemiddelde geluidniveau 's nachts (d.w.z. Lnight).

De overheid vond een aparte norm voor laagfrequent geluid tot nog toe onnodig.[14] Een belangrijke overweging daarbij was dat het laagfrequente geluid altijd samen gaat met hogere frequenties en dat het 'gangbare akoestische instrumentarium' daarvoor voldoende was. De hoeveelheid hinder die uit onderzoek bekend was, had namelijk betrekking op alle geluid, dus met inbegrip van het laagfrequente deel. Bij die hinderonderzoeken werd de deelnemers gevraagd hoeveel hinder zij hadden van het geluid over de afgelopen 12 maanden, zodat alle variaties in en het karakter van het geluid over langere tijd mee konden tellen in de ervaren hinder.

De technische behandeling van geluid is ingewikkeld, zoals ook tijdens de Verkenningstafel meerdere keren werd opgemerkt. De normering zou makkelijker te begrijpen zijn als bijvoorbeeld het geluidniveau nooit hoger dan een bepaalde maximale waarde zou mogen zijn, en niet een gemiddelde over een jaar. Dat levert dan echter weer de vraag op hoe vaak zo'n maximum mag optreden. Het zou er ook toe

kunnen leiden dat de geluidspieken worden vermeden, maar dat windturbines vaker net onder het maximum geluidsniveau produceren.

Er werd dan ook bij een van de Verkenningstafels geopperd dat voldoen aan een geluidsnorm misschien niet zo belangrijk is: "Is er niet in alle redelijkheid een oplossing te vinden zonder of dat nou echt voldoet aan de norm of niet?". De wens tot lagere normen, zoals enkelen voorstelden aan een Verkenningstafel, is misschien wel een wens dat windturbines op bepaalde tijden (genoemd werd de zomeravonden) minder geluid maken.
Er is echter nog te weinig kennis om precies de hinderlijke momenten te kunnen bepalen. Een oplossing hiervoor zou kunnen zijn dat een exploitant in samenwerking met omwonenden de meest hinderlijke tijden bepaalt om dan maatregelen te nemen. Zo'n overleg zou tegelijk een uiting van goed nabuurschap kunnen zijn (zie ook hoofdstuk 4). Ook kan het bevoegd gezag bij een windenergieproject een andere grenswaarde vaststellen dan de landelijke geluidnorm, maar dat kan alleen in verband met 'bijzondere lokale omstandigheden' (die wettelijk niet verder gespecificeerd zijn).

Grenswaarden elders in Europa

In veel landen is aparte regelgeving voor het geluid van windturbines ontwikkeld. Waar nog geen aparte regelgeving is, wordt vaak de regelgeving voor bedrijfsgeluid toegepast. Bij windturbinegeluid zijn twee benaderingen te onderscheiden:

1. er geldt een vaste grenswaarde ongeacht de windsnelheid
2. de grenswaarde hangt af van de windsnelheid.

Die tweede benadering is specifiek voor windturbines en gebaseerd op de gedachte dat het niveau van het omgevingsgeluid en dat van windturbinegeluid beide toenemen met de windsnelheid. Daarbij werd aanvankelijk uitgegaan van een windsnelheid op de standaardhoogte van 10 meter. Er zijn verschillende overzichten gemaakt van regelgeving in een aantal landen.[15,16]

Een vaste grenswaarde wordt in Nederland, maar ook bijvoorbeeld in België, Duitsland, Denemarken en Tsjechië gebruikt. Er zijn echter verschillen tussen de hoogte van de grenswaarde en ook waarvoor die precies geldt: voor het maximum geluidniveau of het gemiddelde; 's nachts, overdag of per uur; voor een woonwijk of het platteland. Er is in Europese landen een grote variatie aan welk geluidniveau wordt beoordeeld en waar de grenswaarden liggen (zie bijlage B), maar meestal liggen deze 's nachts op ongeveer 35 tot 45 dB(A). Voor een goede vergelijking is het echter van belang dat niet alleen de grenswaarden, maar ook de rekenmethode wordt vergeleken.

Afstand als grenswaarde?

Wallonië hanteert bij grote windturbines een minimumafstand van woning tot turbine van driemaal de totale hoogte (inclusief wieken). Van andere Europese landen is ons geen afstand als grenswaarde voor geluid bekend. De Franse Académie Nationale de Médecine heeft in 2006 een minimumafstand van 1500 meter aanbevolen, maar dat is niet in regelgeving toegepast.

In Europa worden afstanden wel gebruikt als vuistregel, maar wordt het maximale geluidsniveau via een geluidgrenswaarde wettelijk geregeld. Bijvoorbeeld Noordrijnland-Westfalen geeft aan dat vanaf 1500 meter geen nadelige effecten te verwachten zijn, maar een plan wordt toch getoetst op het geluidsniveau. In Noord Amerika worden soms wel minimale afstanden tot een woning gehanteerd welke per staat of gemeente kunnen verschillen. Het kan om een vaste afstand gaan (bijvoorbeeld 1000 voet of 0,5 mijl) of een aantal (1 tot 5) keren de totale turbinehoogte.

Om geheel andere redenen dan mogelijke geluidoverlast worden ook wel minimale afstanden toegepast, bijvoorbeeld vanwege het risico dat een blad afbreekt. Bij slagschaduw wordt er vanuit gegaan dat deze bij afstanden vanaf 2000 meter geen bezwaar meer oplevert, maar daarmee wordt alleen een gebied aangemerkt waarbinnen er voor slagschaduw aandacht moet zijn.

2.3 Maatregelen om het geluid te verminderen

Geluidshinder van windturbines is al tientallen jaren onderwerp van wetenschappelijk onderzoek. De uitdaging was steeds een windturbine te ontwerpen met een zo hoog mogelijke efficiency en opbrengst en liefst een zo laag mogelijke geluidsproductie. Dat is niet eenvoudig want het ontstaan van geluid bij windturbines blijkt hoogst gecompliceerd. Om alle eigenschappen van dit geluid te kunnen voorspellen en reduceren, is gedegen wetenschappelijke kennis nodig.

Het is van belang dat een geluidsreductie in decibel niet gelijk opgaat met de door mensen ervaren geluidsvermindering. Een verlaging van het geluidsniveau met 3 decibel betekent in feite een halvering van de werkelijke hoeveelheid geluid, maar voor het menselijk gehoor is dat een minder grote afname. Mensen ervaren het geluid van een windturbine namelijk als half zo sterk als het niveau 10 decibel lager is.

Er is een aantal maatregelen mogelijk om windturbinegeluid te verminderen:

Operationele aspecten
Het toerental van een windturbine heeft veel invloed op de geluidsproductie (zie ook bijlage B). Daarom ligt het voor de hand deze te reduceren. Veel windturbines van de huidige generatie hebben reeds de mogelijkheid om onder een 'noise reduced operation' met lagere toerentallen te draaien. Het toerental van een moderne windturbine loopt over het algemeen op met de windsnelheid totdat een maximale waarde wordt bereikt waarna het toerental constant blijft.

Een gebruikelijke toerentalreductie van 20 procent zal een geluidsreductie van ongeveer 5 decibel tot gevolg hebben. Daar staat tegenover dat zo'n reductie ook de opbrengst omlaag brengt. Afhankelijk van het windklimaat en de turbine kan deze reductie in toerental de jaaropbrengst van een turbine met grofweg 7 procent reduceren. Bij toepassing van deze techniek bijvoorbeeld alleen in de nacht zou de reductie van de jaaropbrengst minder groot zijn.

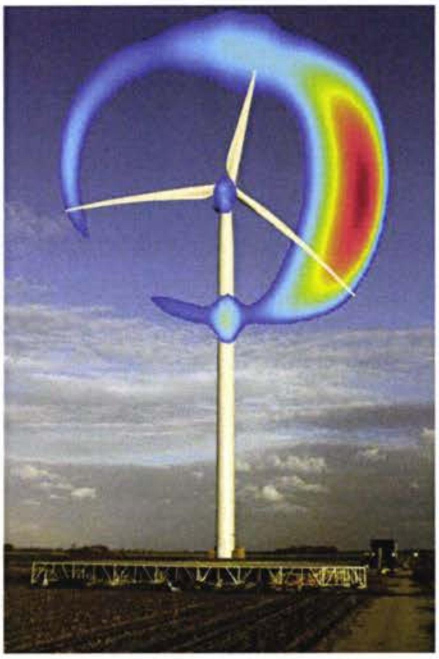
Daarnaast kan het ritmische karakter van het geluid worden aangepakt. Door de bladen te verdraaien om hun as gedurende de omwenteling van de rotor kan de geluidsfluctuatie worden verminderd. Dit kan de levensduur van de turbine echter ongunstig beïnvloeden, met name het verstelmechanisme van deze verdraaiing. Qua onderzoek staat deze toepassing in de kinderschoenen, aangezien er geen directe druk (vanuit een geluidsnorm) wordt opgelegd aan turbinefabrikanten om dit aspect te minimaliseren. Het is onduidelijk of de amplitudemodulatie zwakker is bij een windturbine die met gereduceerd geluidniveau draait.

Bladvorm
Naast het toerental heeft de vorm van het blad ook invloed op het geluid. Daarom is veel onderzoek gedaan naar verbeterde vormen. Een andere vorm kan echter ook een andere energieopbrengst betekenen. Reducties van rond de 3 decibel zijn in onderzoeksprojecten gerapporteerd met dergelijke methodes. Toepassing in de praktijk blijft nog beperkt, aangezien weinig turbinefabrikanten deze manier van geluidsreductie in hun blad-ontwerpproces meenemen.

Add-ons
Zogenaamde add-ons (toevoegingen op het blad) kunnen de stroming op een windturbineblad beïnvloeden, waardoor het geluidniveau omlaag kan gaan. Een bekend voorbeeld zijn de zaagtanden op de achterrand van de bladen, die reducties boven de 3 decibel als resultaat kunnen hebben (zie ook figuur 2.2). Deze innovatie komt in toenemende mate voor op de markt. De toepassing heeft in de praktijk echter uitgewezen dat de uitlijning nogal nauw komt en in het geval van kleine afwijkingen ook geluidstoename en opbrengstafname tot gevolg kan hebben. Dit kan nog verder geoptimaliseerd worden.

Reductie van de immissie

Waar de bovenstaande mogelijkheden zich richten op het verlagen van de emissie, zijn er ook mogelijkheden om de immissie, het geluidsniveau ter plekke van de waarnemer, te beperken. Geluidsisolatie van huizen kan worden toegepast om het geluid binnenshuis te beperken. Daarnaast kan rekening worden gehouden met windrichtingsafhankelijke, atmosferische en andere geluidsvoortplantingseffecten bij de planning van een windpark en selectie van de windturbines hiervoor.



Figuur 2.1: Visualisatie van geluidsbronnen op een windturbine voor een specifieke frequentie.[16] Gemeten vlak boven de grond voor de turbine, wieken draaien met de klok mee. De neergaande slag wordt op de grond als het luidste ervaren (rode kleur) omdat de wieken naar voren (in draairichting) het meeste geluid produceren.



Figuur 2.2: Toepassing van zaagtanden op de wieken van een windturbine ten behoeve van geluidsreductie.[17]

3 EFFECTEN VAN WINDTURBINEGELUID OP DE GEZONDHEID

In dit hoofdstuk wordt de stand van de kennis over het verband tussen windturbinegeluid en gezondheid samengevat. Het is gebaseerd op een systematische literatuurstudie tot en met 2014;[1 †] deze is toegelicht in bijlage C. Na een korte toelichting op de onderzochte gezondheidseffecten, wordt hieronder achtereenvolgens ingegaan op geluidhinder, slaapverstoring en overige effecten. Hierbij wordt ook de invloed betrokken van belangrijke factoren die met de persoon en situatie te maken hebben. Naast epidemiologische resultaten op groepsniveau (de bevolking) zijn er individuele ervaringen die inzicht kunnen geven in de problemen die sommige omwonenden van windturbines ervaren.

3.1 Windturbinegeluid en gezondheid: welke effecten zijn onderzocht?

Mensen kunnen hinder ervaren van windturbinegeluid, of irritatie, boosheid en onbehagen als zij het gevoel hebben dat hun omgevings- of levenskwaliteit verslechtert door de plaatsing van windturbines. Hierdoor kunnen gezondheidsklachten ontstaan. Hinder en slaapverstoring zijn, evenals bij geluid van andere bronnen, de meest onderzochte effecten van windturbinegeluid. In lijn met de WHO-definitie van gezondheid als "een toestand van volledig lichamelijk, geestelijk en maatschappelijk welzijn en niet slechts de afwezigheid van ziekte of andere lichamelijk gebreken"[1] worden geluidhinder en slaapverstoring beschouwd als gezondheidseffecten.[3,4]

Overzicht van onderzochte effecten en factoren

Het aantal publicaties op het gebied van windturbinegeluid en gezondheid is de laatste vijf jaar aanzienlijk toegenomen. Het gaat dan om wetenschappelijke artikelen, beleidsdocumenten en conferentiebijdragen op dit terrein.[5,6,7,8,9,10,11,12,13,14]
Het aantal experimentele studies blijft evenwel beperkt en de laatste paar jaren zijn er vooral reviews verschenen. Recente en gezaghebbende reviews en beleidsdocumenten komen tot een zelfde conclusie ten aanzien van gezondheidseffecten van windturbines: er wordt over het algemeen een verband geconstateerd tussen hinder en het geluid van windturbines. Ook wordt een verband met slaapverstoring mogelijk geacht, maar een direct verband is nog onzeker omdat het aantal studies schaars is en resultaten elkaar tegenspreken. Naast geluid spelen trillingen, slagschaduw, waarschuwingslichten en andere visuele aspecten een rol. Er is voldoende bewijs dat de stress ten gevolge van chronische hinder of het gevoel dat door de windturbines de omgevings- of levenskwaliteit afneemt, een negatieve invloed kan hebben op de gezondheid en het welbevinden van mensen die in de buurt van windturbines wonen.[15] De literatuur laat op een aantal punten tegenstrijdige resultaten zien, vooral waar het gaat om het belang van laagfrequent geluid en infrageluid in relatie tot gezondheidsklachten. Er zijn geen onderzoeken bekend waarbij de gezondheidstoestand van mensen gevolgd werd gedurende langere tijd. Dergelijke lange termijn studies zijn geschikter om een oorzakelijk verband te vinden tussen verschillende factoren.

Persoonlijke en situationele factoren kunnen van invloed zijn op de hinder. Er is in de wetenschappelijke literatuur overeenstemming dat visuele aspecten, de houding ten aanzien van windturbines in het landschap, het proces rondom plaatsing en het hebben van economisch belang bij windenergie de hinder kunnen beïnvloeden. Maar het aantal studies is nog beperkt zodat de mate van invloed van deze factoren nog niet goed in kaart gebracht kan worden. Hoofdstuk 4 gaat hier dieper op in.

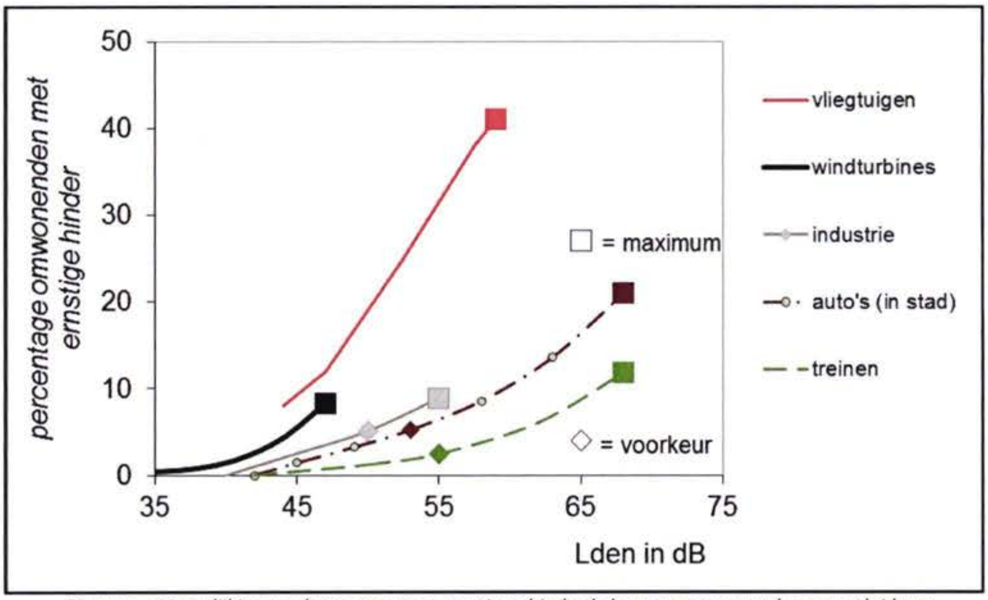
In de volgende paragrafen wordt de stand van zaken per gezondheidseffect beschreven.

† De kleine cijfers (zoals [1]) verwijzen naar literatuurbronnen in bijlage D.

3.2 Geluidhinder

De beoordeling van het geluid van windturbines gebeurt in Nederland en veel andere landen op basis van de over een tijd gemiddelde hoeveelheid geluid (zie ook 2.2). Het is algemeen geaccepteerd dat hinder van geluid van windturbines optreedt bij lagere geluidniveaus dan bij verkeers- en industrielawaai. Op basis van Nederlands en Zweeds onderzoek is een verband (een 'blootstelling-effectrelatie') afgeleid tussen het geluidniveau en de hinder door geluid van windturbines, zowel voor hinder binnen als buiten de woning.[16] Uit later onderzoek in Japan en Polen kwamen vergelijkbare resultaten.[17,18] Het gevonden verband voor windturbinegeluid kan worden vergeleken met net zulke verbanden voor weg-, vlieg- en railverkeersgeluid. Uit die vergelijking (zie figuur 3.1) blijkt dat het geluid van windturbines bij hetzelfde geluidsniveau tot meer hinder leidt dan geluid van weg- en railverkeer en industrie. Het verband lijkt op dat van vliegverkeer bij Schiphol, maar het gaat bij Schiphol wel om hogere geluidniveaus en om een hoger percentage ernstig gehinderden. In vergelijking met de andere bronnen is het geluidsniveau van windturbines bescheiden.
In figuur 3.1 is bij elke geluidbron tevens aangegeven welke grenswaarde voor het geluidniveau volgens de wetgeving bij voorkeur moet worden aangehouden. Bij een aantal bronnen (weg- en railverkeer, industrie) is ook een maximum toelaatbare waarde wettelijk vastgesteld. Als de voorkeurswaarde bij een nieuwe woning niet haalbaar is, mag het geluidniveau niet boven die maximumwaarde uit komen.

Sommigen vinden het nog te vroeg om een blootstelling-effectrelatie voor windturbines op te stellen.[15,20] De invloed van de lokale situatie (zoals het vertrouwen in verantwoordelijken, proces rond plaatsing, woonsituatie) en van persoonlijke factoren (zoals houding, geluidgevoeligheid) is zo sterk dat volgens hen een algemene blootstelling-effectrelatie slechts een indicatie kan geven van het percentage ernstig gehinderden dat sterk kan afwijken van wat er lokaal kan optreden.[9] De blootstelling-effectrelatie zoals gegeven in figuur 3.1 wordt in Nederland echter wel beschouwd als de best beschikbare op dit moment en is de basis voor de huidige regelgeving.



Figuur 3.1. Vergelijking van het percentage ernstig gehinderde bewoners ten gevolge van geluid van windturbines en geluid van vervoersmiddelen en industrie[16,19]

Wat maakt windturbine geluid zo hinderlijk?

In Nederlands onderzoek vond 75 procent van de respondenten dat 'zoeven/zwiepen' de beste beschrijving gaf van het geluid van windturbines.[21] Laboratoriumonderzoek heeft laten zien dat geluiden van windturbines omschreven als 'zoeven', 'kabbelen' of 'fluiten' als het meest hinderlijk werden ervaren

en 'knarsend' en 'laagfrequent' het minst.[22] In het Verenigd Koninkrijk is onderzoek uitgevoerd bij drie woningen waar klachten waren over het geluid van windturbines. Aan de hand van metingen werd geconstateerd dat binnenshuis het ritmische karakter van het geluid waarneembaar was en dat het laagfrequente karakter van het geluid de klachten niet veroorzaakte.[23] Als mogelijke oorzaak van klachten werd amplitudemodulatie, d.w.z. het ritmische karakter van het geluid (zie 2.2 en bijlage B), genoemd.
Of de omgeving ook invloed heeft op de ervaren hinder is onduidelijk. Het is aannemelijk dat op het platteland bewoners windturbines beter kunnen horen en zien dan in de bebouwde omgeving met meer gebouwen en minder vrij zicht. Uit het Nederlandse onderzoek onder omwonenden bleek dat bewoners op het platteland met windturbines even veel hinder rapporteerden als bewoners in de bebouwde kom.[24] Als er op het platteland een weg in de buurt was (met gemiddeld hetzelfde niveau van wegverkeersgeluid als in de bebouwde kom) rapporteerden bewoners van het platteland minder hinder; zonder een weg in de buurt rapporteerden ze meer hinder. In een Zweedse studie werd gevonden dat bewoners op het platteland meer hinder rapporteerden dan in een stedelijke omgeving, mogelijk vanwege de verwachting dat het op het platteland rustig zou zijn.[25]

De bevindingen met betrekking tot het laagfrequente deel van windturbinegeluid spreken elkaar tegen. Waar sommige onderzoekers constateren dat de laagfrequente component verward wordt met de amplitudemodulatie van het geluid[23,26] zijn anderen van mening dat laagfrequent geluid en infrasoon geluid wel degelijk een rol spelen bij reacties op windturbines.[27,28] Omwonenden zijn bezorgd dat door een toename van de hoogte van windturbines meer laagfrequent geluid zal ontstaan. Op basis van metingen wordt dit verschil echter gering geacht.[29] Daarnaast wordt de nadruk op het laagfrequente aandeel onterecht genoemd omdat het normaal geaccepteerde geluid van wegverkeer meer laagfrequent geluid bevat dan wat wettelijk is toegestaan bij windturbines.[30] Het is wel mogelijk dat het aandeel laagfrequent geluid tussen woningen verschilt doordat er in een woning wel of geen resonantie kan optreden en de demping door muren en ramen niet in alle woningen hetzelfde is.
Vooral infrasoon geluid roept veel discussie op, ondanks dat infrasoon geluid van windturbines niet waarneembaar is bij woningen (zie bijlage B). In een recent groot Japans onderzoek werd aangetoond dat luisteraars geen verschil merkten als in geluidsopnames van windturbines het meest laagfrequente deel van het geluid werd weggefilterd.[31] Het grote verschil tussen de bezorgdheid van (toekomstige) bewoners en de feitelijke onderzoeksresultaten tot nu toe blijft echter onverklaard.

3.3 Slaapverstoring

Een goede slaap is essentieel voor de lichamelijke en geestelijke gezondheid.[4] Geluid is een van de factoren die de slaap kan verstoren. Er zijn verschillende directe biologische reacties op nachtelijk geluid mogelijk: een versnelde hartslag, wakker worden, moeilijker inslapen en meer bewegingsonrust tijdens het slapen.[4,32] Nederlands onderzoek liet zien dat het geluid van windturbines geen invloed had op problemen met in slaap vallen, maar wel op doorslapen.[24] Een toename in geluidniveau tot boven ongeveer 45 decibel hing samen met een grotere kans op wakker worden. Dit was overigens niet het geval bij deelnemers met economische voordelen van windturbines, maar dat kan ook (deels) een leeftijdseffect zijn (de deelnemers met economische voordelen waren jonger). De in het Nederlands onderzoek vermelde resultaten stemmen overeen met de conclusies van de Wereldgezondheids-organisatie WHO en recente overzichten van de wetenschappelijke literatuur.[6,7,8,9,10,11,14] Volgens de WHO kan slaapverstoring optreden bij een gemiddeld geluidniveau op de gevel 's nachts (Lnight) van 40 decibel en hoger.[4] Dit komt overeen met de conclusies van onderzoeken in verband met windturbines in de genoemde overzichten. De Night Noise Guidelines van de WHO hebben overigens niet specifiek betrekking op geluid van windturbines. Het is niet ondenkbaar dat door het ritmische karakter het grote aantal kleine geluidspieken net boven de drempelwaarde slaapklachten kunnen veroorzaken.
Een direct verband tussen windturbinegeluid en slaapverstoring kan worden geconstateerd als er een meetbare reactie op het geluid is. Zo'n directe inwerking is aannemelijk als het geluidniveau voldoende hoog is, maar is tot nog toe bij windturbines niet overtuigend aangetoond.[6,9] Wel is een indirect verband gevonden tussen door bewoners gerapporteerde slaapverstoring en hinder van windturbinegeluid, maar niet tussen die slaapverstoring en het geluidniveau zelf.[33]

Verschillende recente studies laten een verband zien tussen de kwaliteit van slaap en slaapverstoring en de afstand van de woning tot de windturbine.[34,35] De verschillen in de kwaliteit van leven bij omwonenden hingen samen met hinder en ervaren slaapverstoring van die omwonenden. Deze resultaten zijn vergelijkbaar met die gevonden bij vlieg- en wegverkeer.

3.4 Overige gezondheidseffecten door geluid

In een Australische tekst[36] werd het aantal mensen woonachtig in de buurt van windturbines en met ernstige gezondheidsklachten geschat op 10-15%. Een vijftal recente literatuuroverzichten die zijn gepubliceerd over de gezondheidseffecten van windturbines[5,6,7,8,9,10,11] komen tot een andere conclusie. Volgens deze overzichten zijn er nog geen andere gezondheidseffecten aangetoond van het wonen in de nabijheid van een windturbine of het geluid dat deze maakt, dan hinder en -in sommige gevallen- de door bewoners ervaren slaapverstoring. Er is op grond van de veldstudies onvoldoende bewijs dat het wonen in de buurt van windturbines een directe oorzaak is van gezondheidsklachten zoals psychische problemen, pijn, stijfheid en hoofdpijn/migraine of van aandoeningen zoals diabetes, cardiovasculaire ziekten, tinnitus en gehoorschade.

In de niet-wetenschappelijke literatuur, waarvan veel op internet is te vinden, worden diverse door mensen beschreven gezondheidseffecten in verband gebracht met de afstand tot windturbines. Daarin wordt infrasoon geluid beschreven als een belangrijke oorzaak van deze effecten, ook als de geluidniveaus niet gemeten en derhalve onbekend zijn. De veronderstelling dat blootstelling aan infrageluid van windturbines direct het evenwichtssysteem kan beïnvloeden,[27,37,38] is nog niet wetenschappelijk onderzocht bij de rond moderne windturbines optredende geluidniveaus (wel bij veel hogere niveaus waarbij de resultaten echter niet eenduidig waren).[39]
Uit dierexperimenteel onderzoek blijkt dat bij onhoorbaar infrageluid (met een niveau beneden de gehoordrempel) en bij afwezigheid van ander geluid in de hersenen toch een 'audiosignaal' kan ontstaan.[27] Echter, anderen zijn van mening dat dit nog niet aantoont dat hierdoor gezondheidsklachten ontstaan: daarvoor is meer bewijs nodig.[40,41] Het menselijk lichaam produceert intern ook infrageluid (o.a. door bloedstroming en ademhaling) en dit zou het van buiten komende infrageluid kunnen overstemmen als dat geluid beneden de gehoordrempel ligt.[42] Het beschikbare wetenschappelijke onderzoek geeft geen uitsluitsel over de vraag of het specifieke karakter van windturbinegeluid gezondheidsklachten kan veroorzaken die van andere geluidbronnen niet bekend zijn.

Hinder zowel als slaapverstoring kunnen tot stressreacties leiden en deze stressreacties kunnen weer gevolgen hebben voor de gezondheid en het welbevinden van de mensen die in de buurt van windturbines wonen. Hoewel dat aannemelijk is, moet bij goed opgezet onderzoek wel worden nagegaan of er sprake kan zijn van selectie (alleen mensen die last hebben doen mee in onderzoek) en/of beïnvloeding van deelnemers (men weet dat het onderwerp hinder van windturbines is).[11] Voor de acceptatie van een windenergieproject door de lokale gemeenschap is het beslissend hoe deze de gevolgen ervan ziet voor de (toekomstige) levenskwaliteit. Als het gevoel bestaat dat die erop achteruit zal gaan, kan dit bij sommigen tot gezondheidsklachten leiden of deze verergeren, zoals bijvoorbeeld zich depressief voelen, hoofdpijn of hoge bloeddruk.

Windturbinesyndroom en Vibro-akoestische ziekte

Onderzoek naar vibro-akoestische ziekte (een beroepsziekte die optreedt bij langdurige blootstelling aan hoge niveaus van laagfrequent geluid) wordt regelmatig genoemd in relatie met laagfrequent geluid en windturbines. Een andere veelgenoemde aandoening is het door Pierpont genoemde windturbinesyndroom.[43] Het windturbinesyndroom verwijst naar een cluster van klachten die worden toegeschreven aan de blootstelling aan geluid van windturbines.
Het onderzoek van Pierpont is gebaseerd op klachten van 38 mensen uit 10 families die in de buurt (300 tot 1500 m) van één of meer windturbines wonen in de Verenigde Staten, Groot-Brittannië, Italië, Ierland en Canada. Infrageluid of ander laagfrequent geluid wordt verondersteld de oorzaak te zijn van het windturbinesyndroom. Het windturbinesyndroom wordt door Pierpont beschreven aan de hand van een verscheidenheid aan (niet specifieke) klachten: slaapstoornissen en slaapdeprivatie, hoofdpijn,

oorsuizing, druk op de oren, duizeligheid, vertigo (draaiduizeligheid), misselijkheid, wazig zien, problemen met concentratie en geheugen, versnelde hartslag en paniekaanvallen geassocieerd met gevoelens van beweging of trilling in het lichaam, zowel tijdens slaap als bij wakkere toestand.[43] Het onderzoek is door een panel in Massachusetts beoordeeld als wetenschappelijk zwak op basis van het kleine aantal deelnemers, de selectie van de deelnemers (deelnemers werden op grond van hun klachten uitgezocht), het feit dat de studie gebaseerd is op interviews (geen metingen), en dat een aantal deelnemers al gezondheidsproblemen had voor de plaatsing van de windturbines. Meer duidelijkheid hierover kan alleen door aanvullend onderzoek worden verkregen.[9] Een plausibele verklaring voor de klachten is dat ze het gevolg zijn van aanhoudende ernstige hinder hetgeen tot stressreacties kan leiden.

In de literatuur wordt ook gesproken over vibro-akoestische ziekte (VAZ) in verband met laagfrequent geluid en infrageluid. Een deel van de symptomen is vergelijkbaar met die van het windturbinesyndroom. De belangrijkste gegevens over VAZ komen van een studie onder vliegtuigtechnici die beroepsmatig zijn blootgesteld aan laagfrequent geluid. De lichamelijke symptomen (onder andere verdikking van het hartweefsel) zijn in kaart gebracht door Portugese onderzoekers.4[1] VAZ is omstreden als aandoening. De resultaten van de dierproeven zijn uitgevoerd bij hoge niveaus van laagfrequent geluid die alleen in industriële situaties voor zouden komen. Daarnaast zijn er nog geen studies uitgevoerd met een degelijke controlegroep. Ook is de manier van diagnosticeren van de aandoening bekritiseerd omdat deze niet nauwkeurig genoeg zou zijn.[45]

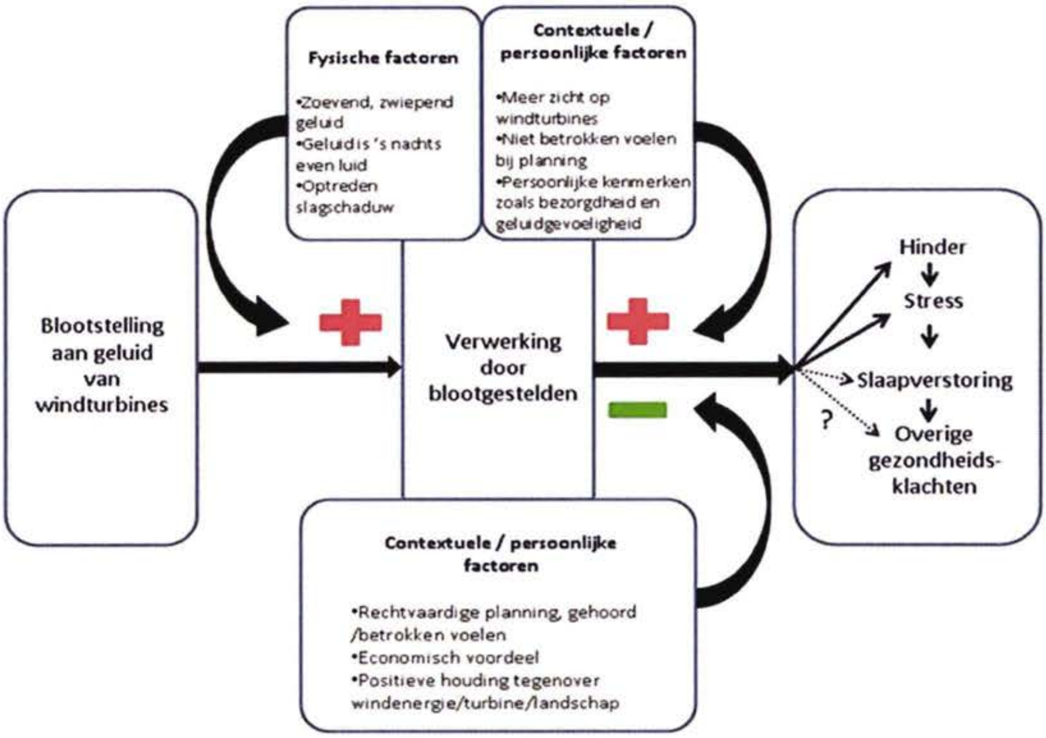
3.5 Invloed van situationele en persoonlijke factoren

Onderzoek in de afgelopen jaren heeft enig inzicht gegeven waarom sommige mensen meer last van windturbines hebben dan anderen. Naast het typerende ritmische karakter van het geluid leveren ook de visuele kenmerken van windturbines een belangrijke bijdrage aan negatieve reacties. Deze kenmerken worden vaak omschreven als opdringerig ('*intrusive*'): vooral door het zoevende geluid, de variërende schaduw (slagschaduw) en de voortdurende draaibeweging.[46] Ook speelt vermoedelijk een rol dat gemiddeld genomen het geluid van wegverkeer 's avonds afneemt terwijl het bij hoge windturbines gelijk blijft of zelfs toeneemt. Mensen die zicht hebben op een windturbine rapporteren mogelijk meer hinder omdat ze bang zijn dat de voortdurende blootstelling aan geluid van deze turbine hun gezondheid schaadt.[15]

Daarnaast spelen persoonlijke factoren en de situatie een rol bij hinder door windturbines. Uit de literatuur komt een breed scala aan factoren naar voren die de hinder mede kunnen beïnvloeden. Deze lopen sterk uiteen en variëren van economisch belang, procedurele rechtvaardigheid (zie hoofdstuk 4) , de onvoorspelbaarheid van windturbinegeluid door variaties in de wind, angst voor afbrekende delen of houding ten aanzien van visuele aspecten, geluidgevoeligheid, sociale acceptatie en het gevoel van afbreuk op privacy. Door al deze invloeden kunnen individuele reacties zeer van elkaar verschillen. Recent is ook aandacht besteed aan de invloed van verwachtingen op de mate van hinder[47] en het bewust zijn ('*notice*') van het karakteristieke en opvallende windturbinegeluid.[48] De invloed van dergelijke factoren is overigens niet uniek voor windturbinegeluid maar is in tal van geluidonderzoeken geconstateerd.[49]

Van blootstelling naar effecten: een schematisch overzicht
Figuur 3.2 geeft schematisch weer hoe het wonen in de buurt van windturbines zou kunnen leiden tot gezondheidsklachten. Het laat zien dat de effecten van wonen in de buurt van een windpark op gezondheid en welbevinden sterk verweven zijn met persoonlijke en situationele factoren. Zo kunnen bijvoorbeeld visuele aspecten niet los worden gezien van geluidhinder: het zien van een windturbine heeft invloed op de ervaren geluidhinder. Ook is bij mensen die economisch voordeel hebben van de windturbines of positief staan ten opzichte van windturbines in het landschap, de kans op hinder verminderd terwijl zij aan hetzelfde geluid zijn blootgesteld. Bij mensen zonder economisch voordeel blijkt dat, ondanks dat windturbines minder geluid produceren dan andere bekende hinderbronnen zoals wegverkeer en industrie, het geluid eerder als hinderlijk wordt ervaren. Het karakter van het geluid

speelt hierbij waarschijnlijk een rol. Wellicht kan het laagfrequente deel van het geluid van windturbines, net als bij andere bronnen, tot extra hinder leiden, maar daar is nog onvoldoende bewijs voor.



Figuur 3.2: Schematisch overzicht van relatie tussen windturbinegeluid en gezondheid;[1]
een + betekent dat de factor het effect van blootstelling verhoogt, een – dat deze wordt verlaagd

Windturbines kunnen alleen al door hun (geplande) aanwezigheid overlast veroorzaken, afhankelijk van de verwachtingen die mensen hebben. Omwonenden kunnen bijvoorbeeld het gevoel hebben dat de kwaliteit van hun leefomgeving zal afnemen, dat ze er op achteruit gaan; ze kunnen bang zijn voor effecten op de gezondheid, voor vermindering van de waarde van hun woning, zich onvoldoende betrokken voelen bij het proces, enz. Dit kan leiden tot gezondheidsklachten of deze verergeren, zoals depressie, hoofdpijn of hoge bloeddruk.
Veel van deze aspecten zijn niet uniek voor windturbinegeluid. Het is bekend dat deze aspecten ook de mate van hinder van verkeers- en industriegeluid kunnen bepalen. Uniek voor windturbines is wel het karakteristieke pulserende geluid en het visuele aspect van de bewegende wieken en slagschaduw. Het karakteristieke ritmische geluid van windturbines maakt het opvallend ten opzichte van andere geluiden; net als het signaal van een wekker of achteruit rijdende vrachtwagen. Als het geluid negatief wordt ervaren, maakt dat karakter het hinderlijker.

3.6 Individuele gevallen

Naast de beperkte epidemiologische studies die verricht zijn naar de gezondheidseffecten van windturbines kan kennis van effecten van (geluid van) windturbines in individuele gevallen ook inzicht geven in de nadelige effecten van windturbines voor omwonenden. In de statistiek vervalt de nuance die persoonlijke verhalen wèl overleveren. Ook kan in epidemiologische studies aan de hand van

vragenlijsten een effect over het hoofd worden gezien omdat er niet naar gevraagd wordt of omdat het zo weinig voorkomt dat het 'in de ruis verdwijnt'.
In de literatuur is een aantal voorbeelden van analyses van individuele gevallen ('case studies) gevonden.[43,50] Vaak wordt als belangrijk bezwaar tegen deze methode aangevoerd dat alleen de negatieve verhalen naar voren komen. Aan de andere kant is een analyse van dergelijke gevallen de moeite waard om het proces van de ontwikkeling en instandhouding van klachten te begrijpen en te achterhalen op welke aspecten of "triggers" mensen reageren. Volgens sommigen kan de omvang, consistentie en eenduidigheid van symptomen die zijn beschreven in case studies beschouwd worden als 'voorlopig epidemiologisch bewijs' voor een verband tussen windturbinegeluid en slaapverstoring en andere gezondheidsproblemen.[50]

Op grond van de case studies lijken een aantal aspecten vaker naar voren te komen:

1. Afstand tot de turbine;
2. Het door omwonenden ervaren karakter van het geluid;
3. De bejegening van bewoners;
4. Gezondheidsklachten;
5. Slaapproblemen en problemen als gevolg hiervan;

Beschrijving van drie gevallen verzameld in de **Verenigde Staten,**[50] deels in de woorden van de getroffen personen en in telegramstijl weergegeven:

1) De eerste casus betreft een man met drie kinderen. De windturbines zijn na elkaar in de tijd geplaatst en de dichtstbijzijnde staat op 330 m van de woning. Hij beschrijft de turbines als luid en vergelijkbaar met vliegtuiggeluid." Het is een 'woosh' geluid en het 'knarst, knalt en kraakt'. Het geluid is rondom, gaat alle kanten op. Het lijkt op een kwaad ding dat boven je hangt en je niet met rust laat. Het geluid verhindert je om na te denken, het lichaam past zich niet aan". Zijn kinderen hebben slaapklachten en daardoor problemen op school. Uiteindelijk zijn ze verhuisd, en bleek het huis niet verkoopbaar.
2) Tweede casus betreft een vrouw met een zoon. Binnen een straal van 3 km rond haar huis zijn 16 turbines geplaatst. De dichtstbijzijnde staat op 400 meter. Ze omschrijft het geluid als constant (aanwezig) met dagelijkse fluctuaties. Je kunt je niet aan het geluid onttrekken. Heel irritant zijn de schaduwen en flikkeringen door het raam en ze heeft een soort overgevoeligheid ontwikkeld voor alles wat beweegt (bijvoorbeeld een ventilator aan het plafond). Ook heeft ze tinnitus ontwikkeld en een kloppend gevoel in hals en op de borst. Andere klachten die genoemd worden zijn: misselijk, duizelig, gehoorverlies, jeukende ogen, hoge bloeddruk, geheugenprobleem, hoofdpijn, hartkloppingen, pijnlijke gewrichten en slaapklachten. Een slaaptest liet 214 verstoringen in 6 uur zien. De waarde van grond en huizen in de buurt is sterk gedaald, mevrouw neemt vaak haar toevlucht bij vrienden waar zij en haar zoon direct in slaap vallen. Ze geeft aan zich kwaad en machteloos te voelen en is teleurgesteld en voelt zich onbegrepen door de overheid.
3) De derde casus betreft een man woonachtig op 500 meter van een windturbine. Hij ervaart een afname van zijn kwaliteit van leven. Zijn klachten zijn angst, stress, zenuwachtigheid, slaap klachten, hypertensie, migraine, duizeligheid, slecht zien, hartkloppingen, woede, maagklachten, depressie. Hij geeft aan dat het niet gaat om de luidheid van de turbine maar om het karakter van het geluid: het gaat in je hoofd zitten en als het er niet is ga je er op zitten wachten. Meneer geeft aan dat de familie niet meer in de tuin kan zitten. Hij gebruikt de term 'turbine torture'. Na een vakantie van een maand waren de klachten weg maar zodra hij weer thuis was begon het opnieuw. Het aantal kopers van huizen in de omgeving van de turbine is met 50% gedaald.

In **Nederland** zijn vergelijkbare reacties gerapporteerd zoals bijvoorbeeld blijkt uit een klacht ingediend op de site windmolenklachten.nl:

> "Een paar jaar staat hij er nu. Een gigantische windmolen, vlak achter ons huis. Als voorstander van duurzame energieopwekking heb ik mij aanvankelijk welwillend opgesteld. De welwillendheid is geleidelijk aan verdwenen en veranderd in een grondige hekel aan het ziekmakende geluidsmonster. Bij een bepaalde windrichting en vanaf kracht 4 of 5 stijgen er dag en nacht enorme hoeveelheden F16's op vanuit onze tuin. Slapen, ho maar. De ergernis vreet je op. We trekken het niet veel langer meer. Het is gesubsidieerde terreur. Tijd voor actie!"

In een **Zweeds onderzoek** werden interviews gehouden met mannen en vrouwen geselecteerd uit een groep omwonenden die verschilden in de mate van hinder van windturbinegeluid.[51] De informatie uit de interviews werd systematisch geanalyseerd. Geïnterviewden die gehinderd waren, omschreven het windturbinegeluid als opdringerig en zagen het als inbreuk op hun privacy. De inbreuk had vooral te maken met het idee dat het geluid en de aanblik niet paste bij hun leefomgeving. Wat ook van belang werd geacht, was het idee niet geloofd te worden en onrechtvaardig behandeld te zijn door de autoriteiten en een gevoel van machteloosheid, samenhangend met een gebrek aan inspraak en controle. Verschillende strategieën werden gehanteerd om hier mee om te gaan, zoals het indienen van een klacht, dichtbouwen van veranda's en proberen je niet op het geluid te concentreren (overigens met wisselend succes).

Alleen onderzoek kan meer inzicht geven in dit soort klachten en het verband met epidemiologische bevindingen. Daarnaast zouden de klachten kunnen worden bijgehouden (gemonitord) door middel van een vast overleg van bewoners en exploitant (en eventueel overheid). Daar zou ook besproken kunnen worden of er maatregelen mogelijk zijn om de klachten te verminderen, zoals al werd aangegeven in paragraaf 2.2.

4. PUBLIEKE MENING OVER WINDENERGIEPROJECTEN

De geluidsbeleving van windparken wordt niet alleen bepaald door de objectieve geluidsbelasting, maar vooral door de subjectieve ervaring van geluid. Subjectieve beoordelingen van geluid worden echter vaak niet (systematisch) gemeten, wat leidt tot een beperkt beeld van geluidsbeleving. Hoe men geluid van windturbines ervaart is niet alleen afhankelijk van technische ontwikkelingen, geluidsnormen en meetbare geluidsniveaus, maar ook van individuele kenmerken en besluitvormingsprocessen. Verschillende factoren die niet direct met het geluid te maken hebben, kunnen invloed hebben op de bezorgdheid over en het ervaren van het geluid van windenergieprojecten. Dat bleek ook uit de discussies aan de Verkenningstafel waar onder andere (gebrek aan) informatie en (ongelijke) posities van betrokken partijen vaak werden genoemd met betrekking tot geluidsbeleving.

Dit hoofdstuk gaat in op factoren die de (subjectieve) beleving van geluid beïnvloeden, en factoren die meer in het algemeen oordelen over windenergieprojecten beïnvloeden. Dit hoofdstuk richt zich dus niet alleen op geluid, maar beschrijft de bredere context die van belang is om (subjectieve) geluidsbeleving te verklaren. We bespreken twee belangrijke factoren die invloed hebben op geluidsbeleving en hoe mensen over windenergieprojecten oordelen, namelijk:

- de verdeling van de kosten en baten van de projecten,
- publieke betrokkenheid bij de besluitvorming.

Daarna bespreken we twee algemene factoren die invloed kunnen uitoefenen op hoe men de (verdeling van) kosten en baten en het besluitvormingsproces beoordeelt:

- vertrouwen in partijen betrokken bij ontwikkelingen van windenergieprojecten,
- de waarden van mensen.

De nadruk ligt hier op de factoren die invloed hebben op hoe men lokale windenergieprojecten beoordeelt. Deze factoren kunnen invloed hebben op de (latere) beleving van een project, inclusief geluidsbeleving, en verklaren waarom mensen voor of tegen windenergieprojecten zijn.

4.1 Oordelen over windenergieprojecten

Vaak dragen lokale gemeenschappen mogelijke nadelen of "kosten" van windenergieprojecten (bijvoorbeeld ongewenst geluid), terwijl potentiële baten van deze projecten (bijv. minder CO_2-uitstoot, betaalbare energie en energie-onafhankelijkheid) op een nationaal of zelfs globaal niveau worden ervaren en de financiële baten terecht komen bij de ontwikkelaars. Dit kan een reden zijn voor lokaal verzet tegen windenergieprojecten. Als mensen denken dat de kosten en baten van windturbines niet eerlijk zijn verdeeld, kan dit ertoe bijdragen dat ze meer geluidshinder ervaren.

Lokale zorgen of verzet wordt vaak als Not In My BackYard (NIMBY) bestempeld, waarmee bedoeld wordt dat mensen windenergie in het algemeen goed vinden, maar daar geen hinder van willen hebben in hun nabije omgeving. NIMBY veronderstelt dat mensen vooral gericht zijn op individueel eigen belang en impliceert dat omwonenden geen kosten willen dragen om daarmee het maatschappelijk belang te dienen.

Wetenschappers hebben echter vastgesteld dat deze publieke zorgen of het verzet afdoen als NIMBY te simplistisch is, en niet recht doet aan terechte zorgen die omwonenden kunnen hebben.[1,2,3 ‡] Zelfs als wordt aangenomen dat een windenergieproject belangrijk of noodzakelijk is, is het niet juist om oordelen over windenergie in het algemeen te vergelijken met oordelen over specifieke windenergieprojecten. Mensen kunnen bijvoorbeeld hun oordelen over windenergie in het algemeen niet direct baseren op geluid, terwijl mogelijke geluidshinder wel een belangrijke rol speelt als ze een specifiek project beoordelen. Daarnaast kunnen mensen zorgen hebben over de gevolgen van specifieke

‡ De kleine cijfers (zoals [1]) verwijzen naar literatuurbronnen in bijlage D.

lokale windenergieprojecten voor lokale gemeenschappen en over de besluitvormingsprocedures die worden gevolgd, wat tot onrust, frustratie en verzet kan leiden.

Oordelen over de nadelen en kosten van windenergieprojecten

Mensen oordelen over het algemeen positiever over windenergieprojecten als deze minder nadelen hebben. Bij de implementatie van windenergieprojecten kan daarom worden nagegaan hoe mogelijke nadelen voor omwonenden kunnen worden geminimaliseerd.

De nadelen, kosten en risico's van windenergieprojecten voor omwonenden kunnen verminderd worden door bijvoorbeeld duidelijke normen vast te stellen met betrekking tot geluidsblootstelling of door technische oplossingen toe te passen die de geluidsbelasting of andere nadelen verminderen (zie paragrafen 2.2 en 2.3 van dit kennisbericht). Technische oplossingen en strengere normen leiden echter niet vanzelfsprekend tot positievere oordelen over windenergieprojecten, zoals ook werd erkend door de Verkenningstafel. Omwonenden kunnen het bijvoorbeeld niet eens zijn met de manier waarop geluidsnormen worden vastgesteld of over de gehanteerde procedures. Bovendien maken burgers zich vaak zorgen over meerdere aspecten van windenergieprojecten. Het verminderen van de geluidsbelasting alleen is dan onvoldoende om deze zorgen te verminderen en hoeft de ervaren geluidshinder daarom niet te veranderen.

Enkele studies laten zien dat men voorkeur heeft voor windparken op zee in plaats van op land [4] en voor kleinere in plaats van grotere windparken,[5] wellicht omdat deze minder nadelen hebben voor omwonenden, inclusief minder geluidshinder. De vraag is echter of veel kleine windparken positiever zouden worden beoordeeld dan één groot windpark.

Oordelen over voordelen van windenergieprojecten en de rol van tegemoetkomingen

Men zal waarschijnlijk positiever oordelen over windenergieprojecten naarmate deze meer voordelen hebben. Omwonenden kunnen op verschillende manieren baat hebben bij windenergieprojecten. Er kunnen bijvoorbeeld lokale fondsen worden opgericht waarmee de energierekening van omwonenden wordt verlaagd, de lokale economie kan worden gestimuleerd, of er kunnen investeringen worden gedaan in gemeenschappelijke voorzieningen zoals sportscholen.[6] Deze maatregelen leiden echter niet vanzelfsprekend tot positievere oordelen; andere factoren kunnen daar een rol spelen (bijv. gehanteerde procedures; zie hierna).

In een studie in de VS oordeelde men positiever over windenergieprojecten naarmate de omwonenden meer korting kregen op de energierekening,[7] terwijl in een andere studie in de VS had de hoogte van financiële tegemoetkomingen geen invloed op het oordeel van mensen over het windpark.[8] Men oordeelde positiever over tegemoetkomingen via het lokale fonds en strandverzorgingsfonds dan via het staatsfonds.[8] Soms oordelen mensen negatief over tegemoetkomingen omdat ze deze tegemoetkomingen ervaren als een poging tot omkopen.[6]
Op basis van inzichten uit meerdere studies, is de suggestie geopperd dat vooral individuele financiële tegemoetkomingen (bijvoorbeeld eenmalige betaling aan mensen) als omkoping kunnen worden ervaren, in vergelijking met niet-financiële en/of collectieve tegemoetkomingen (bijvoorbeeld investeren in gemeenschappelijke en lokale voorzieningen).[9] Deze veronderstelling is echter niet systematisch getest. Financiële tegemoetkomingen kunnen vooral als pogingen tot omkopen worden gezien als ze niet wettelijk geregeld zijn.[6,10]

Een windenergieproject in Schotland, waarbij ontwikkelaars een financiële compensatieregeling niet al bij de start van het project hadden uitgelegd aan betrokkenen (ondanks het voornemen om deze tegemoetkomingen te bieden), riep veel twijfels op bij de omwonenden.[11] Uiteindelijk werd een gemeenschappelijk fonds positief beoordeeld, maar er bleven twijfels over wie het fonds kon gebruiken en hoe.[11] Het is dus belangrijk om de verdeling en toewijzing van financiële tegemoetkomingen al aan het begin duidelijk te maken aan het publiek.
Vaak zijn er geen vaste regels voor geven van financiële vergoedingen ter compensatie van de implementatie van windenergieprojecten, en hangt de invulling hiervan af van de ontwikkelaars. Er zijn

pogingen gedaan om algemene regelingen op te stellen voor publieke participatie bij windenergieprojecten, inclusief regels over (financiële) tegemoetkomingen, zoals de "Gedragscode draagvlak en participatie wind op land", ontwikkeld door Nederlandse Wind Energie Associatie (NWEA), Stichting De Natuur- en Milieufederaties, Stichting Natuur & Milieu, en Greenpeace Nederland.[12] In reactie hierop heeft ook de Nederlandse Vereniging Omwonenden Windturbines (NLVOW) een gedragscode uitgebracht.[13] Volgen van deze code kan voorkomen dat mensen compensatie als omkoping ervaren, en tot positievere oordelen leiden omdat dan rekening wordt gehouden met zorgen en wensen van omwonenden.

4.2 Publieke betrokkenheid en participatie

Onderzoek laat zien dat mensen positiever oordelen over windenergieprojecten wanneer ze het besluitvormingsprocessen eerlijk vinden en betrokken zijn bij deze besluitvorming.[14,15] Door verschillende partijen, waaronder omwonenden, bij de besluitvorming te betrekken, kunnen de belangen en zorgen van deze partijen beter worden meegenomen in de besluitvorming. Dit kan bijvoorbeeld meer inzicht geven in de (subjectieve) geluidsbeleving en in manieren waarop geluidshinder verminderd of voorkomen kan worden. De betrokken partijen kunnen samen bespreken of en hoe een windenergieproject op een verantwoordelijke en adequate wijze kan worden ontwikkeld, en samen beslissen of een specifiek project moet worden herzien of afgelast omdat het teveel hinder veroorzaakt. Men kan op verschillende niveaus betrokken worden, zoals hieronder beschreven.

Informatievoorziening
Een goede dialoog over windenergie ontwikkelingen tussen betrokken partijen (de rijksoverheid, lokale overheden, ontwikkelaars en omwonenden) vereist dat alle partijen toegang hebben tot relevante informatie over windparken en de daaraan verbonden kosten en baten. Het is van belang dat de besluitvorming over ontwikkeling van windparken tijdens het gehele proces, vanaf de politieke besluitvorming over windenergie tot aan de daadwerkelijke bouw van windparken, transparant is. Betrokkenen moeten relevante informatie aan het begin van het proces krijgen en niet alleen aan het einde wanneer de beslissingen al genomen zijn en de plannen al vast staan.

Informatie over windenergieprojecten aan burgers wordt vaak eenzijdig gecommuniceerd door de rijksoverheid, lokale overheden en/of ontwikkelaars. Het gevolg is dat burgers niet actief worden betrokken bij de besluitvorming. Vaak wordt gevreesd dat publieke betrokkenheid veel tijd en geld zal kosten en dat mogelijke conflicten alleen maar erger zullen worden.[16] De mate van publieke betrokkenheid kan echter een belangrijke rol spelen bij oordelen over windenergieparken, zoals we hierna zullen bespreken.

Publieke betrokkenheid bij de besluitvorming
Op basis van de inzichten uit verschillende lokale hernieuwbare energieprojecten in Nederland en andere Europese landen, concludeerden onderzoekers dat hoe meer mensen betrokken zijn bij de ontwikkeling van energieprojecten, hoe positiever ze oordelen over deze projecten.[17,18] Daarentegen worden projecten met een technocratische top-down besluitvorming door omwonenden minder positief of negatief beoordeeld.[3,19]

Hoge publieke betrokkenheid betekent niet alleen dat mensen een kans krijgen om hun mening te uiten, maar ook dat hun mening serieus genomen wordt in de besluitvorming en invloed heeft op de projectontwikkeling, en accepteert dat men op basis van publieke betrokkenheid ertoe kan besluiten het project te herzien. Bij een offshore windenergieproject in Karlskrona in Zweden werden de burgers vanaf het begin van het project betrokken bij de besluitvorming en werd hun advies meegenomen bij het concretiseren van de plannen.[16] Dit is een voorbeeld van *tweerichtingscommunicatie*, waar men niet alleen informatie over het project krijgt en zijn of haar opinie kan uiten, maar ook reële inspraak heeft. Twee deelstaten van Australië zijn van plan deze tweerichtingscommunicatie op te leggen, doordat de initiatiefnemer instemming moet verkrijgen van omwonenden voor de start van een windenergieproject.[20]

Men oordeelt positiever over windenergieprojecten waarin sprake is van dit soort tweerichtings-communicatie, ook als mensen niet financieel betrokken zijn.[16]

Als mensen hun mening geven, verwachten ze dat deze mening serieus in overweging zal worden genomen bij de besluitvorming. Mensen kunnen negatief oordelen over inspraak als ze denken dat hun mening geen invloed heeft op de besluitvorming. Dit kan worden ervaren als valse betrokkenheid. Het is belangrijk om goed in te schatten welk niveau van publieke betrokkenheid overheden en ontwikkelaars toe kunnen en willen laten (bijvoorbeeld rekening houdend met beschikbare tijd en geld) en om geen onrealistische verwachtingen te wekken.

Op dit moment verschilt het niveau van publieke betrokkenheid in verschillende landen. Een gezamenlijke aanpak en samenwerking met de omwonenden is bijvoorbeeld prominenter in Denemarken dan in Engeland en Nederland.

Er is echter geen systematisch en internationaal onderzoek gedaan naar de invloed van verschillende besluitvormingsprocedures op oordelen over windenergieprojecten, en welke procedures het beste passen bij de specifieke (nationale) omstandigheden. Een specifieke manier van publieke betrokkenheid (bijvoorbeeld het teruglevertarief in Duitsland) kan in verschillende landen verschillende effecten hebben. Het is belangrijk om culturele en lokale verschillen mee te nemen bij het organiseren van publieke betrokkenheid en het plannen van windenergieprojecten.[10]

Publieke betrokkenheid bij de exploitatie van windenergieprojecten
Oordelen over windenergieprojecten lijken positiever te zijn als de lokale bevolking deelt in de kosten en baten daarvan. Vooral in Denemarken zijn windenergiecoöperaties populair. Het Deense Middelgrunden windpark op zee, 50 procent eigendom van een ontwikkelaar en 50 procent van een coöperatie, werd door omwonenden positief beoordeeld , ook al maakte men zich zorgen over geluidshinder [16] Het is echter niet bekend of dit ook het geval zou zijn als het gaat om windprojecten op land, waar geluid in het algemeen als meer problematisch kan worden gezien.

Een ander voorbeeld waaruit blijkt dat financiële betrokkenheid kan leiden tot positievere oordelen over windenergie is het teruglevertarief (betaling voor geleverde elektriciteit) in bijvoorbeeld Duitsland, dat lokaal aandeelhouderschap in windparken stimuleert.[17,21,22] Dit beeld is in lijn met een overzichtsstudie van windenergieprojecten in Engeland, waarin werd geconcludeerd dat mede-eigenaarschap bij windenergieprojecten (bijvoorbeeld het hebben van aandelen in windturbines, lidmaatschap in een windenergiecoöperatie) tot positievere oordelen over deze windenergieprojecten leidt.[5]
Het is echter niet duidelijk waarom men positiever oordeelt over windcoöperaties. Komt dit vooral omdat men er financieel voordeel bij heeft, of omdat men sterker betrokken is bij de besluitvorming en hier inspraak op heeft?

In paragraaf 2.2 werd een andere mogelijkheid genoemd om omwonenden te betrekken bij de exploitatie van een windpark, namelijk door geregeld overleg en het snel reageren op klachten en suggesties.

4.3 Vertrouwen

Het ontwikkelen van windenergieprojecten is complex en het is daarom belangrijk dat men de betrokken partijen kan vertrouwen. Men moet er vertrouwen in hebben dat de betrokkenen een goede afweging van kosten en baten maken en dat ieders belang goed wordt vertegenwoordigd. Hoe meer vertrouwen men heeft in partijen die betrokken zijn bij energieprojecten, hoe positiever men oordeelt over deze

projecten.[14,15] Bovendien kan vertrouwen bepalen in welke mate men negatieve of positieve gevolgen van windenergieprojecten verwacht, vooral als men weinig kennis heeft over deze ontwikkelingen[§].[23]

Er zijn twee belangrijke factoren die vertrouwen beïnvloeden, namelijk

- of men de betrokken partijen competent vindt,
- of men de betrokken partijen integer vindt.[24,25]

Allereerst is het vertrouwen in partijen over het algemeen hoger als men denkt de betrokken partijen voldoende kennis en expertise hebben om windenergieprojecten uit te voeren. Dit is echter niet voldoende, men moet ook van mening zijn dat deze partijen open en eerlijk zijn en rekening houden met de belangen van mensen. Bovendien is het vertrouwen hoger als mensen denken dat de betrokken partijen dezelfde waarden hebben als henzelf. Men heeft in het algemeen meer vertrouwen in universiteiten en belangorganisaties dan in energiebedrijven en overheden, en vaak meer vertrouwen in lokale overheden dan in nationale overheden.

In een studie in Engeland vonden mensen duurzame energietransities zeer belangrijk, maar tegelijkertijd maakten ze zich zorgen over de mate waarin energiebedrijven en de nationale overheid in staat zijn om deze transities zo te realiseren dat deze aansluit bij de maatschappelijke waarden en milieuwaarden.[26,27]

Een studie in Nederland over CO_2-afvang liet zien dat als mensen denken dat betrokken partijen dezelfde waarden hadden als zij zelf, ze verwachtten dat deze partijen goede doelen nastreven en voldoende vaardigheden hebben om deze doelen te bereiken.[28] Verder bleek uit het onderzoek naar CO_2-afvang en -opslag dat men politieke beslissingen positiever beoordeelde toen verschillende partijen bij de besluitvorming werden betrokken, zoals milieuorganisaties *en* de industrie, in plaats van een van deze partijen.[29]

4.4 Waarden

Waarden zijn algemene doelen of idealen die mensen belangrijk vinden in hun leven (bijvoorbeeld natuur en milieu, geld of status).[30] Waarden zijn algemene voorspellers die invloed kunnen hebben op de oordelen over (de verdeling van) kosten en baten en van de besluitvormingsprocedures en het vertrouwen in betrokken partijen.[15,26,27,31] Als mensen denken dat windenergieprojecten positieve gevolgen hebben voor waarden die zijzelf belangrijk vinden, zullen ze deze projecten positiever beoordelen op veel verschillende kenmerken. Maar als ze denken dat windenergieprojecten vooral negatieve gevolgen hebben voor de waarden die ze belangrijk vinden, zullen ze vooral negatieve kenmerken toeschrijven aan deze projecten, ook kenmerken die niet heel belangrijk voor hen zijn gezien de waarden die ze belangrijk vinden.

Dit betekent dat zelfs als het geluidsniveau van windturbines wordt verminderd, men toch nog klachten kan hebben over het lawaai. Dit is vooral het geval als er andere aspecten van windparken zijn die een bedreiging vormen voor de belangrijke waarden van mensen, waardoor mensen de windturbines in het algemeen negatief beoordelen (dus ook als lawaaierig).

Het is daarom belangrijk om te onderzoeken welke waarden ten grondslag liggen aan publieke oordelen over windenergieprojecten en rekening te houden met deze waarden bij de besluitvorming. Zoals genoemd, mensen hebben meer vertrouwen in partijen die dezelfde waarden hebben als zij zelf. Verschillende groepen betrokkenen kunnen verschillende waarden belangrijk vinden (bijvoorbeeld omwonenden, ondernemers). Het is belangrijk om rekening te houden met deze verschillen in waarden bij het opzetten van besluitvormingsprocedures en de planning en mogelijke uitvoering van windenergieprojecten.

[§] Er wordt echter verondersteld dat vertrouwen minder belangrijk is voor oordelen over hernieuwbare energiebronnen dan voor oordelen over energiebronnen die als meer risicovol worden gezien door mensen, bijvoorbeeld kernenergie.[32] Deze veronderstelling is echter niet voldoende getest.

5. AANDACHTSPUNTEN

In het overleg van de vier clusters van belanghebbenden (de 'vier O's', zie Inleiding) werd afgesproken 'handelingsperspectief' als rode draad op te nemen. Elk onderdeel zou moeten worden voorzien van een slotalinea waarin de(on)mogelijkheid van handelingsperspectieven wordt geschetst. Een aantal conclusies hieronder is daarom aangevuld met mogelijke maatregelen die alle zijn gebaseerd op de teksten in de hoofdstukken 2, 3 en 4. Dit geeft mogelijkheden om concrete maatregelen te bespreken. Dit Kennisbericht kan niet beoordelen of dat ook wenselijk is.

Geluid van windturbines (hoofdstuk 2)

1. Het is niet zeker of de te verwachten, berekende geluidniveaus rondom een windturbine in alle gevallen worden gehaald. Dit zou door meting gecontroleerd kunnen worden. Ook kunnen maatregelen worden vastgesteld om zeker te stellen dat de geluidsnorm niet wordt overschreden.
2. Met een weerbericht voor 100 meter hoogte kan wellicht de geluidsproductie van een windpark worden voorspeld zodat omwonenden weten wat ze op korte termijn aan geluid kunnen verwachten.
3. Een simulatie van het geluid (en zo mogelijk beeld) van een windturbine ('3D-ervaring' vooraf) kan een toekomstige bewoner een realistisch beeld geven van het geluid en daarmee onderdeel zijn van het geven van relevante informatie.
4. Door innovaties kan een reductie van 3 decibel of meer worden bewerkstelligd. Een reductie van meer dan 6 decibel gaat gepaard met een aanmerkelijke afname van de opbrengst.
5. Het lijkt mogelijk de amplitudemodulatie (ritmisch geluidskarakter), die vooral vanaf zonsondergang kan optreden, te verminderen door technische maatregelen. Experimenten hiermee verdienen aanbeveling.
6. Een gemeente kan kiezen voor een eigen geluidsnorm als daarvoor bijzondere lokale omstandigheden zijn.
7. Een overleg met bewoners, ook tijdens exploitatie van een windpark, is een mogelijkheid aan goed nabuurschap vorm te geven. Op deze manier kunnen de exploitanten bij bovengemiddeld hinderlijke situaties maatregelen voorstellen.

Effecten van windturbinegeluid op de gezondheid (hoofdstuk 3)

8. Hinder is het voornaamste gezondheidseffect toegeschreven aan het geluid van draaiende windturbines, zowel overdag als 's nachts. Bij hetzelfde geluidsniveau is het geluid van windturbinegeluid hinderlijker dan het geluid van andere bronnen zoals verkeer of industrie. Tegelijk is het geluidniveau van de windturbines op zichzelf bescheiden in vergelijking met die andere bronnen.
9. Zowel uit epidemiologisch onderzoek als uit de individuele gevalsbeschrijvingen komt het typische karakter van windturbinegeluid naar voren als belangrijk probleem. Vooral het ritmische karakter van windturbinegeluid wordt als hinderlijk ervaren.
10. Windturbines produceren ook laagfrequent geluid. Het laagfrequente deel van het geluid van windturbines kan wellicht tot hinder leiden. In de literatuur is daar nog geen consensus over.
11. De geluidnormen voor windturbines zijn gebaseerd op een gemiddeld geluidniveau en houden niet expliciet rekening met het karakter van het geluid. Dat karakter is echter wel in de Nederlandse regelgeving meegewogen.
12. In het op onderzoek gebaseerde verband tussen het niveau en de hinder van windturbinegeluid zijn alle aspecten van het geluid inbegrepen. Deze relatie kan echter slechts een indicatie geven voor de te verwachten hinder in lokale situaties en kan niet worden toegepast op individuen.
13. Er zijn nog onvoldoende gegevens beschikbaar om de invloed van windturbines op de slaap te kunnen beoordelen en de huidige onderzoeksresultaten spreken elkaar tegen. Volgens de World Health Organization zal slaapverstoring bij de in Nederland toegestane geluidniveaus, wel voor kunnen komen maar beperkt zijn.

14. Chronische hinder of het gevoel dat door de windturbines de omgevings- of levenskwaliteit afneemt, kan via stressprocessen een negatieve invloed hebben op de gezondheid en het welbevinden van mensen die in de buurt van windturbines wonen.
15. Voor andere gezondheidseffecten in relatie tot windturbinegeluid is onvoldoende bewijs. Dat betekent niet dat die relatie er niet zou kunnen zijn.

Publieke mening over windenergieprojecten (hoofdstuk 4)

16. Individuen verschillen in hun beleving van geluid en oordelen over windenergieprojecten. Bij de besluitvorming kan rekening worden gehouden met factoren die ten grondslag liggen aan deze verschillen.
17. Omwonenden dienen in alle fases van een project te worden geïnformeerd en moeten worden betrokken in de besluitvorming, niet pas aan het einde van de projectontwikkeling en/of pas als er sprake is van verzet tegen het project. Informatievoorziening is echter slechts één deel van publieke betrokkenheid.
18. Windenergieprojecten met actieve publieke betrokkenheid en tweerichtingscommunicatie worden door burgers positiever beoordeeld. Tegelijkertijd is het belangrijk om de mate van publieke participatie van tevoren te bepalen en valse betrokkenheid te voorkomen.
19. Hoe men oordeelt over een windenergieproject hangt af van de waargenomen kosten en risico's van het project en de baten voor lokale gemeenschappen. Hoe mensen oordelen over kosten, risico's en baten van windenergieprojecten hangt af van de mate waarin deze projecten hun belangrijke waarden bedreigen of ondersteunen.
20. Het aanbieden van financiële tegemoetkomingen kan worden ervaren als poging tot omkopen, vooral als de compensatieprocedures niet duidelijk zijn en niet wettelijk zijn vastgesteld.
21. Mensen oordelen positiever over windenergieprojecten als partijen die verschillende standpunten vertegenwoordigen betrokken worden bij de besluitvorming over windenergieprojecten.